

# REKAYASA GEOTEKNIK DALAM DISAIN DAM TIMBUNAN TANAH

O. B. A. Sompie

Dosen Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi Manado

## ABSTRAK

*Dam dari timbunan tanah (earthfill dam) membutuhkan lapisan tanah dasar yang relatif baik, dimana konsolidasi dapat menyebabkan penurunan akibat beban. Dua masalah yang dihadapi dari proses konsolidasi, yaitu besarnya penurunan dan jangka waktu yang diperlukan untuk mencapai penurunan maksimum. Tahapan konstruksi ditentukan dengan teknik yang efektif konstruksi earthfill dam pada lapisan tanah lempung lunak. Makalah ini menunjukkan studi perilaku dan stabilitas earthfill dam dalam tahapan konstruksi menggunakan metode elemen hingga (FEM). Perilaku tegangan-regangan dan tegangan air pori diselidiki untuk setiap tahapan konstruksi dam. Perkembangan dan nilai dievaluasi terhadap mekanisme keruntuhan dan faktor keamanan. Pendekatan metode numerik sangat cocok dalam hal diatas sebagai pemecahan praktis masalah geoteknik.*

*Kata kunci: Rekayasa Geoteknik, dam dan timbunan tanah*

## PENDAHULUAN

Dam timbunan tanah (*earthfill dam*) pada tanah dasar lunak (*soft subsoil*) dikonstruksi dengan tahapan menurut pra pembebanan pada tanah dasar lunak, dan kelebihan tekanan air pori (*excess pore water pressure*) berkurang selama konstruksi. Jadi peningkatan kekuatan geser dam hasil dari konsolidasi pada tanah dasar dan dam itu sendiri (J. Hartlen, W. Wolski, 1996). Tujuan utama analisa konsolidasi dengan metode elemen batas adalah penentuan tegangan termasuk tekanan air pori, distribusi tegangan-regangan, dan prediksi deformasi dan penurunan. Faktor keamanan masing-masing tahapan konstruksi akan dapat diperoleh dengan asumsi reduksi  $\phi$ -c. Pengembangan menggunakan metode numerik akan menentukan sebagai pendekatan lanjut untuk analisa rekayasa geoteknik. Metode elemen batas (FEM) menguntungkan terhadap berbagai metode yang dapat dilakukan dengan pendekatan simulasi kondisi kerja pada struktur. Tahapan konstruksi dapat dilakukan dengan FEM pada perhitungan perilaku tegangan-regangan, konsolidasi dan proses keruntuhan sampai keruntuhan total (Brinkgreve dan Vermeer, et al 2002). Metode FEM pada program Plaxis digunakan untuk

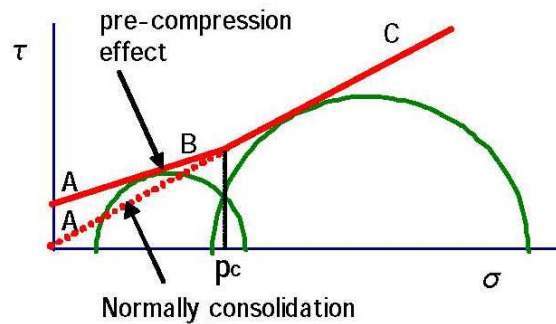
menganalisa penurunan dan faktor keamanan tahapan konstruksi earthfill dam

## MOHR-COULOMB (MC) MODEL

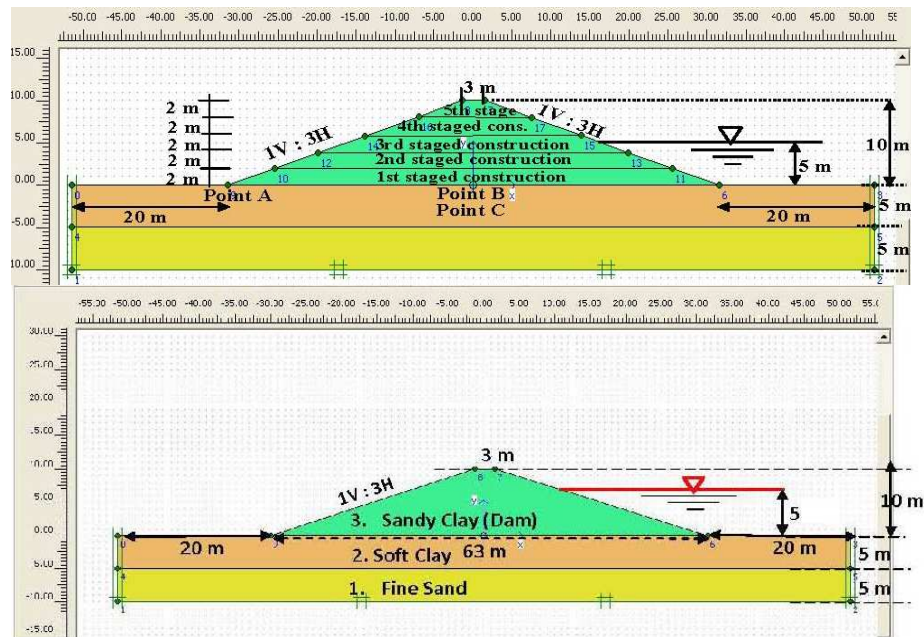
Uji kekuatan geser pada pemadatan timbunan material jelas bahwa kekuatan geser (*strength envelope*) terdiri atas kombinasi 2 garis lurus, seperti pada gambar 1 dibawah. Berdasarkan fakta bahwa pemadatan tanah kurang atau lebih mempunyai gabungan kekuatan butiran yang tinggi dengan efek tarikan dan tegangan lebih besar dari keadaan konsolidasi normal pada tegangan tertekan lebih rendah dari pada tegangan pra-kompresi  $p_c$ . Untuk maksud praktis dan keamanan, tetapi garis lurus ABC selalu digunakan dalam disain untuk menentukan  $c_u$  and  $\phi_u$ .

*Pemadatan Material Timbunan:*

- Pemadatan Tanah menggambarkan tegangan tinggi AB dari pada keadaan konsolidasi normal AB pada tekanan dibawah dari pada tegangan pra-kompresi  $p_c$ .
- Efek pra-kompresi hilang akibat dari pembasahan tanah, dimana  $c$  dan  $\phi$  digunakan dalam disain ditentukan dengan AB untuk disain dari sisi praktis.



Gambar 1. Efek pra-kompresi pada material kompaksi



Gambar 2. Model dam timbunan tanah dan lima tahapan konstruksi (tanpa skala)

Model Mohr-Coulomb elastik-plastik terdiri dari lima input parameter, yakni  $E$  and  $\nu$  untuk tanah dengan sifat elastik;  $\phi$  dan  $c$  tanah bersifat plastis dan  $\phi$  sebagai sudut *dilatancy*.

#### MATERIAL MODEL PADA DAM TIMBUNAN TANAH (*Earthfill Dam*)

Untuk tujuan penyederhanaan analisa, *earthfill* dam pada model ini di asumsikan sebagai homogenitas dan dibangun pada lempung berpasir (*sandy clay*) pada tanah dasar lapisan lempung lunak (*soft clay*) dan pasir halus (*fine*

*sand*). Dam dengan tinggi 10 meter ( $H$ ), dengan tinggi lebar puncak 3 meter dan kemiringan kedua sisi lereng (*slope*) 1V: 3H (Gambar 2). Konstruksi earthfill dam dibagi 5 tahapan dengan masing-masing tahapan dikonsolidasikan selama 30 hari.

Dam dimodelkan untuk dianalisis sebelum *impoundment* sehingga level air diasumsikan berada pada muka tanah. Data input sifat-sifat tanah dari dam dan tanah bagian bawah diberikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Sifat fisik dan teknik material model dam

<i>Mohr-Coulomb</i>		<b>1 Sandy Clay (Dam)</b>	<b>2 Soft Clay</b>	<b>3 Fine Sand</b>
<b>Type</b>		Undrained	Undrained	Drained
Unsaturated soil weight, <b>unsat</b>	[kN/m <sup>3</sup> ]	18.00	16.00	17.00
Saturated soil weight, <b>sat</b>	[kN/m <sup>3</sup> ]	19.50	17.00	19.00
Horizontal permeability, <b>k<sub>x</sub></b>	[m/day]	0.010	0.001	1.000
Vertical permeability, <b>k<sub>y</sub></b>	[m/day]	0.010	0.001	1.000
Young's modulus, <b>E<sub>ref</sub></b>	[kN/m <sup>2</sup> ]	15000	6000	12000
Poisson's ratio,	[-]	0.300	0.330	0.300
Cohesion, <b>c<sub>ref</sub></b>	[kN/m <sup>2</sup> ]	15.00	20.00	2.00
Friction angle,	[°]	24.84	10.00	26.00
Dilatancy angle,	[°]	0.00	0.00	0.00

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada rekayasa struktur, faktor keamanan didefinisikan sebagai rasio dari beban runtuh terhadap beban kerja.

$$\text{Faktor Keamanan, } SF = \frac{S_{\text{maksimum yang tersedia}}}{S_{\text{perlu untuk ekuilibrium}}}$$

Dimana: menyatakan kuat geser. Rasio dari kekuatan sebenarnya terhadap kekuatan minimum yang dihitung untuk mencapai keseimbangan adalah faktor keamanan yang secara konvensional digunakan dalam mekanika tanah. Dengan menerapkan kondisi standar dari Coulomb, Faktor keamanan dapat diperoleh sebagai berikut:

$$\text{Faktor Keamanan, } SF = \frac{c - \sigma_n \cdot \tan \phi}{c_r - \sigma_n \cdot \tan \phi_r}$$

dimana dan adalah masukan parameter kekuatan dan adalah komponen tegangan normal aktual. Parameter dan adalah parameter kekuatan tereduksi yang mempunyai nilai tepat untuk mempertahankan keseimbangan. Prinsip ini digunakan dalam Plaxis untuk menghitung faktor keamanan global. Dengan pendekatan ini maka kohesi dan tangen dari sudut geser direduksi dengan proporsi sama:

$$\frac{c}{c_r} = \frac{\tan \phi}{\tan \phi_r} = SF$$

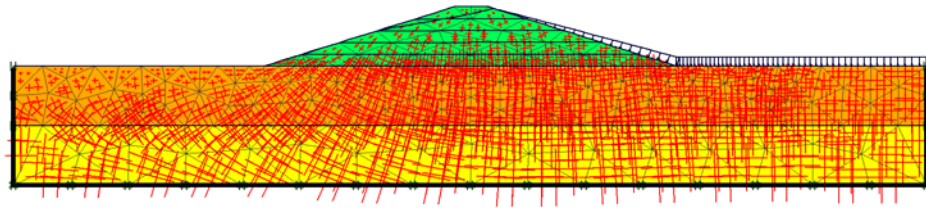
### Analisa hasil

Hasil analisa dibawah ini, dipilih dari berbagai hasil skenario kemiringan lereng dan ketinggian tubuh dam dan lebar puncak. Hasil-hasil yang ditunjukkan dibawah ini merupakan hasil paksimal dari kemiringan lereng 1V: 3H dengan tinggi dam 5 meter dan lebar puncak 3 meter.

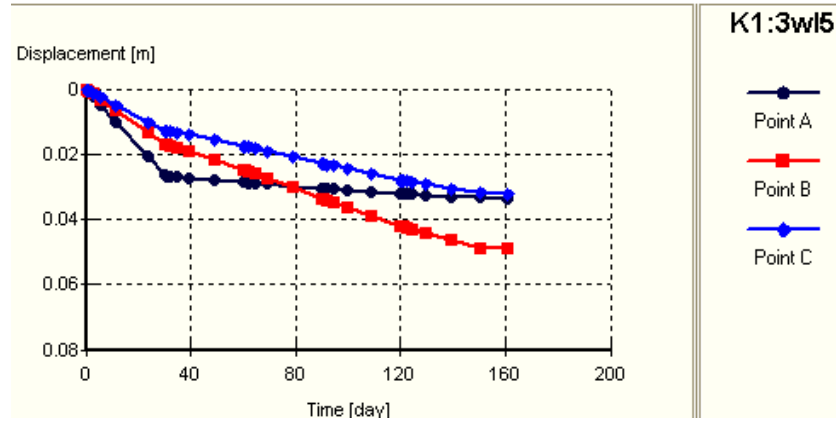
#### 1. Perilaku Tegangan-Regangan

Distribusi tegangan total dalam arah prinsipal (mayor dan minor) pada akhir konstruksi ditunjukkan pada gambar 3. Besaran dapat diberikan pada setiap titik tegangan yang dihubungkan pada jaringan elemen hingga. Itu dapat dicapai dalam tegangan efektif dan tegangan air pori pada setiap tahapan konstruksi. Sedangkan deformasi dan penurunan dapat juga ditentukan pada setiap waktu konstruksi.

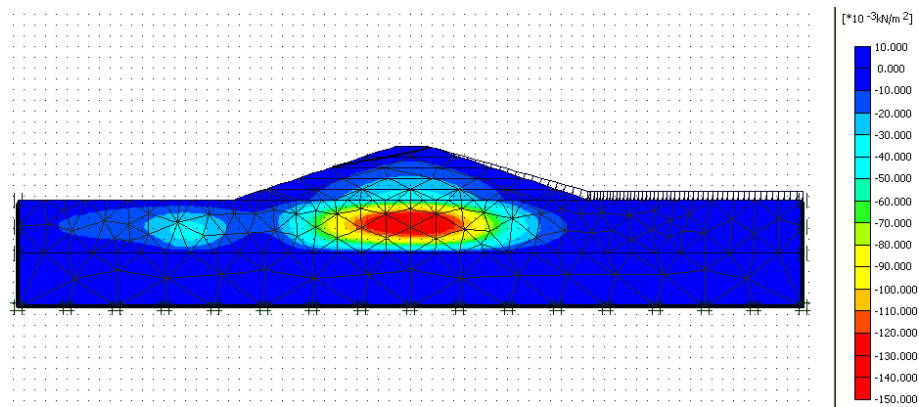
Kurva Waktu-Penurunan (*time-displacement*) pada titik A, B dan C seperti yang ditunjukkan dalam gambar 4. Setelah tahapan akhir konsolidasi di peroleh penurunan pada titik A, B dan C masing-masing adalah 0.033 m, 0.049 dan 0.032 m



Gambar 3. Tegangan Total  
(Extreme total principal stress  $-257.44 \text{ kN/m}^2$ )



Gambar 4. Kurva Waktu-Penurunan (titik A, B dan C lihat Gbr 2)



Gambar 5. Kelebihan Tekanan Air Pori pada Akhir  
( $u_{\text{extreme}} = -0.144 \text{ kN/m}^2$ , pressure=negative)

## 2. Tekanan Air Pori

Kelebihan tegangan air pori selama konstruksi sangat tinggi terjadi dan dominan terjadi pada tubuh dam di prediksi seperti pada gambar 5. Disini menjelaskan sebagai alasan pada reduksi tegangan efektif dan faktor keamanan menurun menurut dengan meningkatnya tinggi dam. Dimana kelebihan tegangan pori besar

terjadi pada tubuh bendung dapat menghasilkan retakan atau kolaps dam. Jadi untuk mereduksi perkembangan kelebihan tegangan pori pada tubuh bendung merupakan factor yang sangat penting dalam kontsruksi dam timbunan tanah (*earthfill dam*).

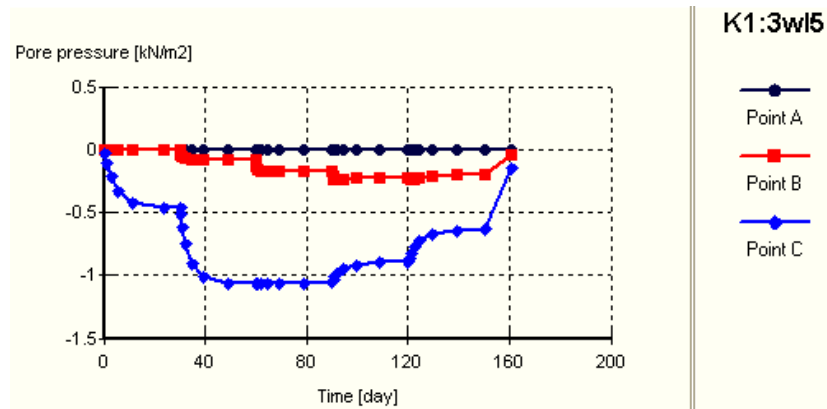
Segera setelah lapisan timbunan diletakkan, kelebihan tekanan pori segera

meningkat dan setelah itu berangsur hilang untuk waktu konsolidasi diberikan dapat dilihat pada Gbr.6. Dengan waktu konsolidasi tanah dasar yang cukup dan timbunan dam akan mengurangi dan menghilangkan kelebihan tegangan pori.

### 3. Mekanisme Keruntuhan dan Faktor Keamanan, SF

Mekanisme keruntuhan dam pada akhir konstruksi ditunjukkan dengan deformasi

jaringan elemen pada gambar 7. Potensial keruntuhan longsor terjadi menurun kebagian tanah lempung lunak (*soft soil*). Untuk stabilitas lereng dam, factor keamanan (*Safety Factor, SF*) menurut waktu terjadi menurut tahapan konstruksi pertama, ketiga dan sepanjang waktu seperti ditunjukkan pada gambar 9, dengan tipe longsor seperti pada gambar 8



Gambar 6. Pengembangan kelebihan tegangan pori

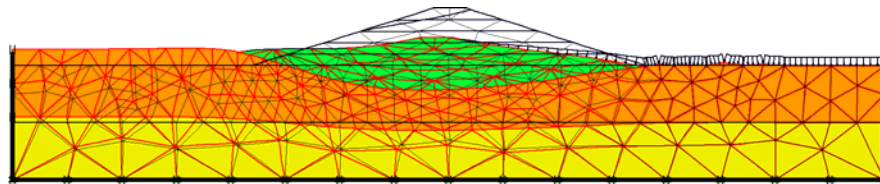


Figure 7. Deformasi Jaringan Elemen

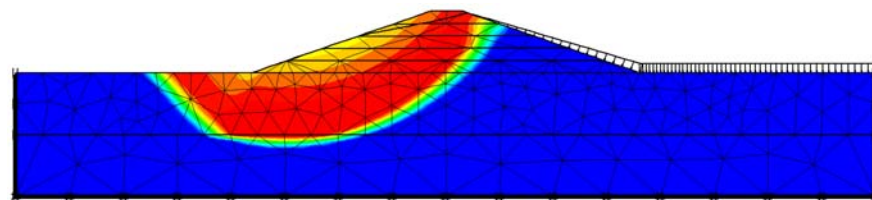
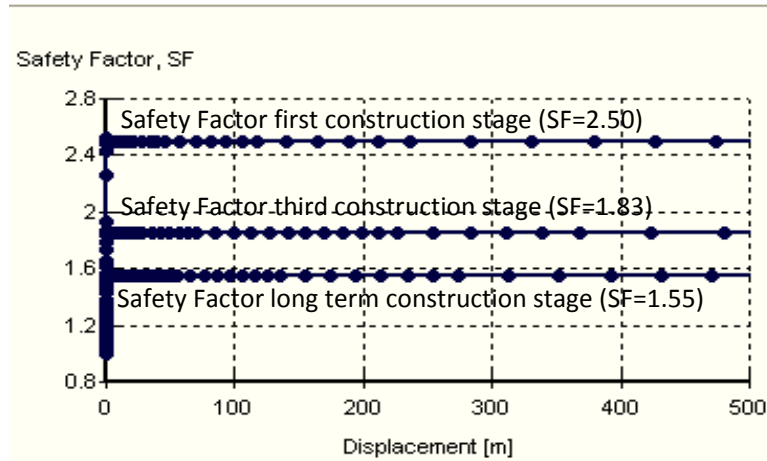


Figure 8. Type Longsor



Gambar 9. Faktor Keamanan

### KESIMPULAN

Tahapan konstruksi teknik yang sangat berguna untuk membangun earthfill dam diatas tanah lunak. Simulasi dan perhitungan earthfill dam dapat dibentuk dengan metode elemen batas. Model numerik menjelaskan pendekatan dengan kondisi lapangan sehingga dapat diselesaikan dengan perhitungan dan diprediksi terhadap perilaku dan stabilitas strukturnya.

Keutamaan analisa elemen batas adalah menentukan tegangan termasuk tegangan pori, distribusi tegangan-regangan dan prediksi deformasi dan penurunan. Faktor keamanan masing-masing fase konstruksi dijelaskan

dengan asumsi reduksi  $\phi$ -c. Penggunaan metode numerik yang mendalam akan menentukan kemajuan terhadap pendekatan rekayasa geoteknik dalam disain earthfill dam.

### DAFTAR PUSTAKA

- J. Hartlen, W. Wolski (1996): *Embankments on Organic Soils*. Elsevier. 424p. ISBN 0-444-88273-1.
- R. B. J. Brinkgreve, P. A. Vermeer, et al. (2002): *PLAXIS 2D- Finite Element Code for Soil and Rock Analyses*. Versi 8 Delft University & Plaxis b.v., A.A. Balkema/ Rott/ Brookfield. The Netherlands